

ZEMENT

Herstellung und Eigenschaften

Fritz Keil



Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York 1971

Inhaltsverzeichnis

1 Zement als Bindemittel in der Bautechnik	1
1.1 Grundbegriffe der Verwendung von Zement	1
1.1.1 Anforderungen an Zement, an Beton, Stahlbeton und Spannbeton	1
1.1.2 Weitere Begriffe der Beton- und Mörteltechnologie	8
1.1.3 Geschichtlicher Überblick	12
1.2 Genormter und anderer üblicher Zement	15
1.2.1 Einteilung, Bezeichnung und Klassifizierung	15
1.2.2 Zusammensetzung und Eigenschaften	19
1.2.3 Sulfathüttenzement	25
1.3 Zement für besondere Verwendungszwecke (außer Quellzement und Tonerdezement)	26
1.3.1 Hydrophober Zement zur Bodenvermörtelung	26
1.3.2 Tiefbohrzement (oil well cement)	28
1.3.3 Asbestzement	31
2 Chemie des Zementklinkers	35
2.1 Chemismus und Eigenschaften des Klinkers sowie der hydraulischen Stoffe	35
2.1.1 Zementchemie und Zementtechnik	35
2.1.2 Wesen und Möglichkeiten der Klinkerrechnung	37
2.1.3 Klinkerphasen und Klinkereigenschaften	43
2.1.4 Berechnungsbeispiele und Variationsbreite	49
2.1.5 Weißer und farbiger Zement	51
2.1.6 Herstellen von Klinker mit hohem Kieselsäuregehalt	54
2.1.7 Chemische Zusammensetzung von Klinker und Zement	57
2.1.8 Chrom als Ursache der Chromatallergie	65
2.2 Reaktionen beim Sintern und Hydratisieren des Klinkers	66
2.2.1 Reaktionen beim Klinkerbrand, auch mit besonderem Rohmehl	66
2.2.2 Klinkerphasen	68
2.2.3 Klinkerstruktur als Folge des Sinterns, Schmelzens und Kühlens	72
2.2.4 Klinker aus besonderen Herstellungsverfahren (Basset-, Séailles-, Bayer-Verfahren)	75
2.2.5 Gleichgewichte beim Schmelzen und Sintern	77
2.2.6 Gleichgewichte beim Hydratisieren (Hydrolyse)	80
2.2.7 Reaktionsgeschwindigkeit und spezifische Oberfläche (Gips und Kalk als Beispiele)	83
2.3 Hydratationsprodukte	86
2.3.1 Silicatische Hydratphasen	87
2.3.2 Aluminatische und ferritische Hydratphasen	89
2.3.3 Chemische Wirkungen auf die Hydratphasen (CO_2 , CaCl_2 , Zn- und Mg-Salze)	91

2.3.4	Bemessung des Kalksulfats	95
2.3.5	Verlauf der Hydratation	99
2.3.6	Ursachen der Erhärtung und Beständigkeit	104
2.4	Hüttenzement und Puzzolanzement	111
2.4.1	Zusammensetzung von Hütten sand, Puzzolane und anderen hydraulischen Stoffen	111
2.4.2	Hochfenschlacke für Hüttenzement (Hütten sand)	114
2.4.3	Puzzolane (Traß)	121
2.4.4	Flugasche und Schmelzgranulat	123
2.4.5	Bewertung von Puzzolane	125
2.5	Forschungseinrichtungen und Bestimmungsverfahren	129
2.5.1	Porenmessung	129
2.5.2	Thermische Verfahren	130
2.5.3	Lichtmikroskop	132
2.5.4	Elektronenmikroskop	135
2.5.5	Spektrographische Verfahren und Kernresonanz	136
2.5.6	Röntgenbeugungsanalyse	140
2.5.7	Betriebliche Anwendung von Prüf- und Meßverfahren (Automation)	142
3	Physikalische Eigenschaften des Zements und Betons	144
3.1	Vorgeschichte, Grobstruktur und Zuschlagstoffe	144
3.1.1	Zement und Wasser beim Anmachen	144
3.1.2	Störungen des Erstarrens und warmer Zement	146
3.1.3	Bestimmung von Normsteife, Erstarren und Konsistenz	149
3.1.4	Mischen, Verdichten und Nachverdichten (Ausgußbeton, Injektionsmörtel, Pumpbeton Rüttelbeton, Vacuumbeton)	152
3.1.5	Grobstruktur von Normalbeton und Leichtbeton	157
3.1.5.1	Strukturmerkmale	157
3.1.5.2	Leichtzuschlag für Stahlleichtbeton	158
3.1.5.3	Gas- und Schaumbeton	161
3.1.6	Eignung der Zuschlagstoffe und Haftfestigkeit	162
3.1.7	Alkali-Zuschlag-Reaktion	165
3.2	Feinstruktur des Zementsteins	170
3.2.1	Festigkeitsformeln	170
3.2.2	Gelmodell von POWERS	172
3.2.3	Eigenschaften von Porensystemen	176
3.2.4	Wasserundurchlässigkeit	177
3.2.5	Luftporengehalt und Frostbeständigkeit	180
3.2.6	Zement und Beton im Straßenbau	187
3.3	Festigkeit und deren Prüfung	192
3.3.1	Zerstörende Prüfung	192
3.3.2	Zerstörungsfreie Prüfung	196
3.3.3	Einflüsse auf die Festigkeit (Winterbau)	198
3.3.4	Entwicklung der Normenprüfung in Deutschland	202
3.3.5	Schnellprüfung von Zement (Prüfung von Mörtelkleinzylindern)	203
3.3.6	Festigkeit-Zuwachs-Diagramm (FZ-Diagramm) Bewertung hydraulischer Stoffe	206
3.3.7	Auswertung und Darstellung von Ergebnissen	211
3.4	Räumliche Veränderungen von Beton	216
3.4.1	Schwinden, Schrumpfen, Kriechen	216
3.4.2	Schwindprüfung und Schwindwerte	218

3.4.3 Kriechen	221
3.4.4 Raumbeständigkeit des Klinkers. Kalk- und Magnesiatreiben	222
3.4.5 Quellszement	227
3.5 Änderungen durch die Temperatur	229
3.5.1 Hydratationswärme und Massenbeton	229
3.5.2 Beschleunigen des Erhärtens durch Wärme (Allgemeines)	236
3.5.3 Autoklavhärtung	237
3.5.4 Wärmebehandlung unter 100 °C	240
4 Natürliche und technische Einflüsse auf Beton	244
4.1 Verwitterung und ihre Produkte (Zementrohstoffe)	244
4.1.1 Wasser, Kohlensäure und Kalk in der Natur	244
4.1.2 Kalkstein, Kreide, Kalkmergel	248
4.1.3 Ton	250
4.1.4 Übrige Carbonate und Calciumsulfate	252
4.2 Korrosion und Korrosionsschutz der Bewehrung	256
4.2.1 Betonangreifende Kohlensäure und pH-Wert von Lösungen	256
4.2.2 Korrosion und Korrosionserlaß	259
4.2.3 Einfluß von Zementstein und Chlorid besonders auf Stahl	263
4.2.4 Carbonatisierung	266
4.3 Chemischer Angriff und Schutzmaßnahmen	268
4.3.1 Übersicht über Versuche, Erfahrungen und Vorschriften	268
4.3.2 Angreifende Wässer, Lösungen und Gase	272
4.3.3 Prüfung des chemischen Angriffs	276
4.3.4 Versuche mit Meerwasser	278
4.3.5 Einwirkung von Öl	279
4.3.6 Betonzusatzmittel und Schutzanstriche	280
4.3.7 Verfärbungen, Ausblühungen und Aussinterungen	287
4.3.8 Besonderheiten von Hüttenzement	289
4.4 Tonerdezement, feuerfester und feuerbeständiger Beton aus Tonerde- zement und Portlandzement	293
4.4.1 Tonerdezement	293
4.4.2 Tonerdezement in Stahlbeton	296
4.4.3 Feuerfester Beton (Feuerbeton)	297
4.4.4 Wärme- und Feuerbeständigkeit von Stahl- und Spannbeton	301
5 Verfahrenstechnik des Brennens und Mahlens	303
5.1 Entwicklung der Brennöfen	304
5.1.1 Vom Schachtofen zum Drehofen	304
5.1.2 Sinterband	307
5.1.3 Neuzeitliche Trockenverfahren. Wirbelschicht-Verfahren	309
5.1.4 Herstellung und Eigenschaften der Granalien	311
5.2 Heutige Brennöfen	314
5.2.1 Schachtofen	414
5.2.2 Lepolverfahren (Drehofen mit Rostvorwärmer)	317
5.2.3 Schwebegas-Wärmetauscher-Verfahren (SW T-Verfahren, Drehofen mit Mehlvorwärmer)	320
5.2.4 Langer Trockenofen	325
5.2.5 Naßofen	326
5.2.6 Vergleich der Brennverfahren	327
5.2.7 Kühlen	334
5.2.8 Theoretischer Wärmebedarf und Verbrennung	337

5.3 Feuerfestes Futter, Brenngut und Gasphase	343
5.3.1 Anforderungen an das Futter und Futterarten	343
5.3.2 Bildung von Ansatz und Ansatzringen (Granulationsmodell)	347
5.3.3 Einfluß der Asche	349
5.3.4 Alkali- und Sulfatkreislauf	351
5.3.5 Ansatzringe und ihre Beseitigung	356
5.3.6 Veränderungen der ff. Steine im Ofen	358
5.4 Ofenstaub, Entstaubung, Emission und Immission	359
5.4.1 Ofenabgase und behördliche Anforderungen	359
5.4.2 Schwefel- und Fluorverbindungen im Ofenstaub	362
5.4.3 Ofenstaub und Landwirtschaft	366
5.4.4 Entstaubungseinrichtungen	369
5.4.5 Verringerung der Geräuschemission	371
5.5 Mahlfeinheit, Mahlwiderrstand und Mahlhilfen	372
5.5.1 Wesen der Zerkleinerung	372
5.5.2 Bestimmung der Mahlfeinheit von Rohmehl und Zement	375
5.5.3 Mahlwiderrstand von Klinker	381
5.5.4 Mahlhilfen	384
Literaturverzeichnis	387
Sachverzeichnis	421